

Technologies des chaufferies automatiques au bois

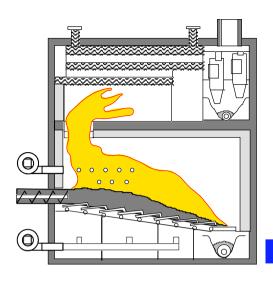
et aspects environnementaux dans la recherche pour réduire des polluants et précipiter des poussières fines

Prof. Dr. Thomas Nussbaumer

Université de Sciences Appliquées de Lucerne Bureau d'ingénieurs Verenum Zürich

Colloque du
Comité Interprofessionnel du Bois-Energie (CIBE)
10 octobre 2013
DIJON (F)

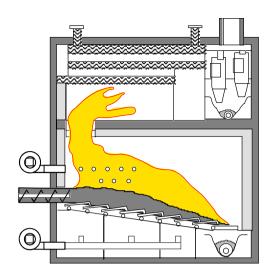




1. Introduction

- 2. Combustion du bois et formation des polluants
- 3. Chaudières automatiques au bois pour
 - production de chaleur
 - couplage chaleur-force
- 4. Séparation des poussières fines
- 5. Conclusions



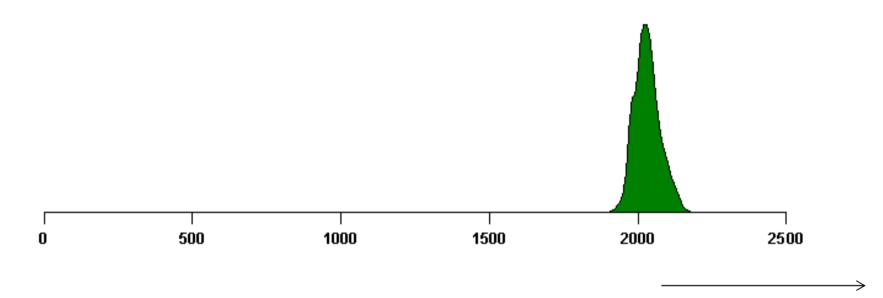


1. Introduction:

a) Les avantages de l'énergie du bois



1. La période fossile: Un court "peak" dans l'histoire



à l'avenir, seulement les énergies renouvlables seront disponibles



2. Nous allons sentir les conséquences avant la fin des énergies fossiles: Changement climatique par effet de serre et autres effets



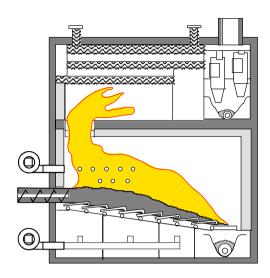
Morteratschgletscher 1878





WWF/Greenpeace

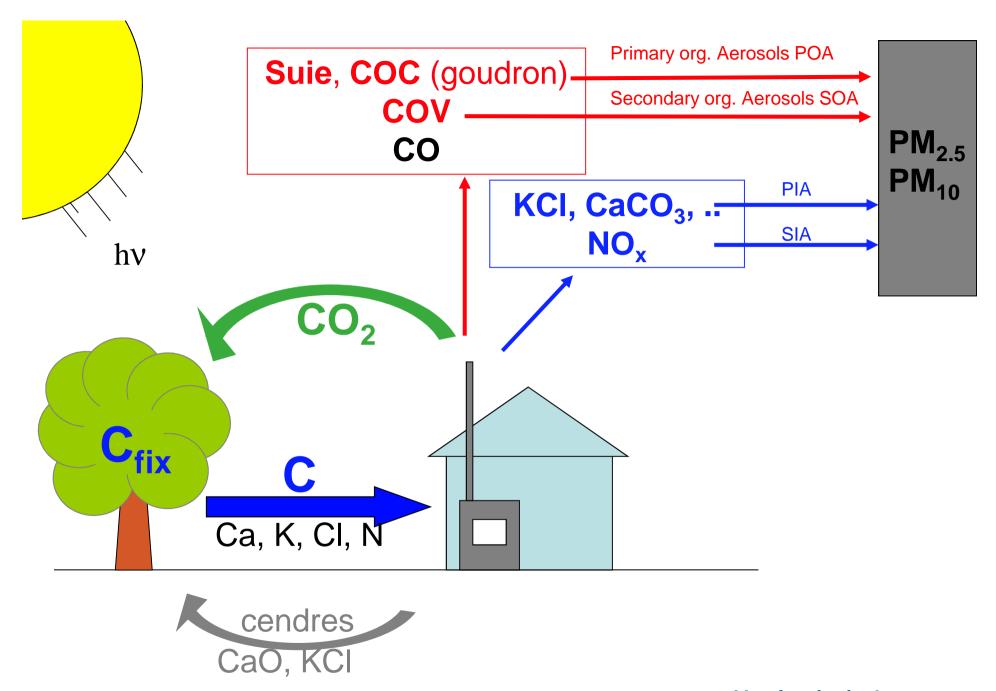




1. Introduction:

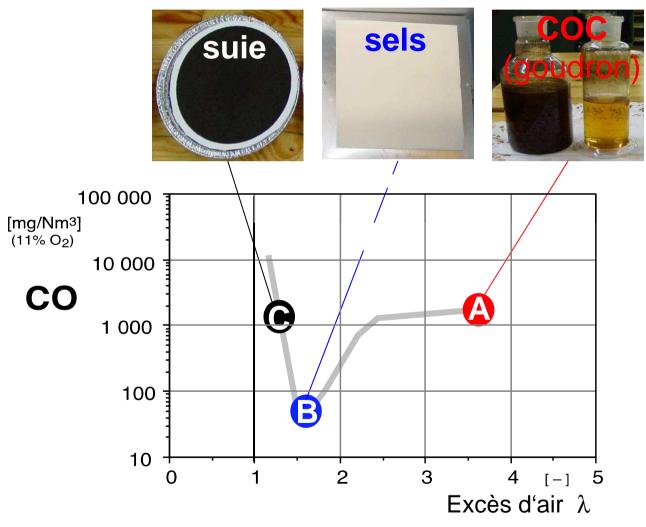
b) Le désavantage (potentiel): La pollution







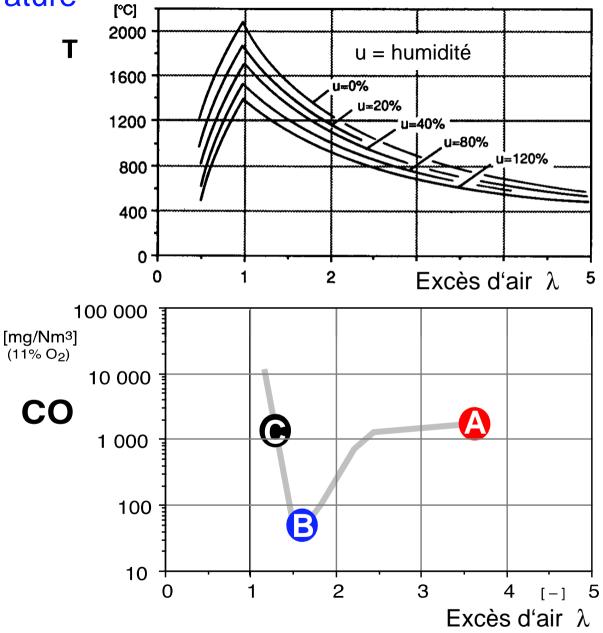
Types de particules en différents régimes de combustion





[Nussbaumer, Energy & Fuels 2003, 17]

Température

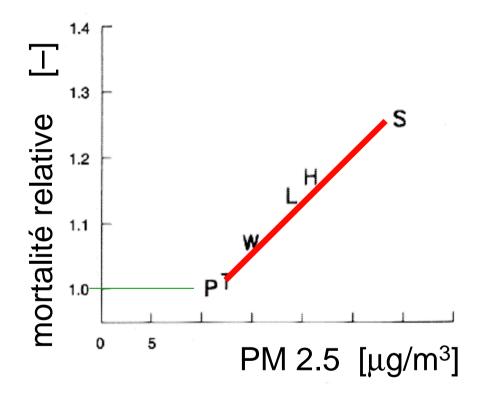




[Nussbaumer, Energy & Fuels 2003, 17]

Les particules fines:

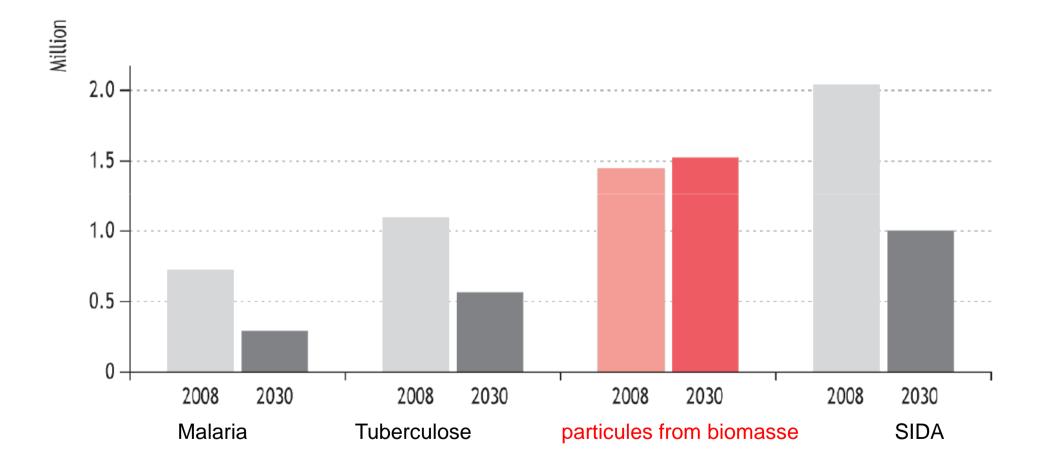
Indicateur important pour la nuisance de la pollution trouvée dans l'air de l'environment



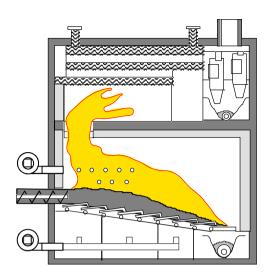


"Six Cities Study" USA 1993 [Dockery et al. 1993]

Décès prématurés de la pollution d'air intérieur de la combustion de biomasse (utilisée pour <u>cuisiner</u> et chauffer) en comparaison avec les maladies plus importantes







1. Introduction

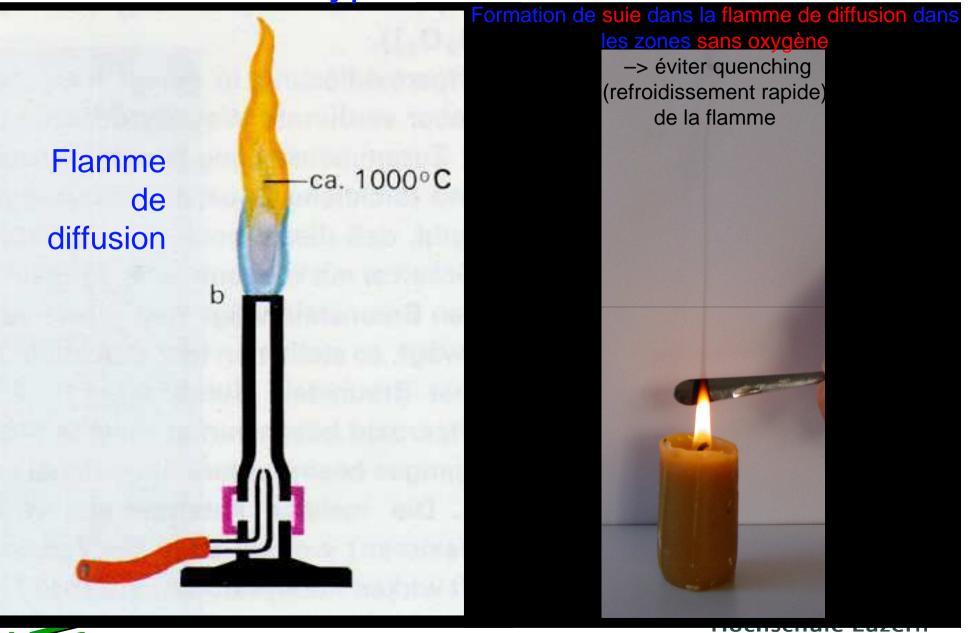


- 2. Combustion du bois et formation des polluants
- 3. Chaudières automatiques au bois pour
 - production de chaleur
 - couplage chaleur-force
- 4. Séparation des poussières fines
- 5. Conclusions





Types de flammes





Combustion en 1 étape avec refroidissement de la flamme:

Poêle après allumage froid

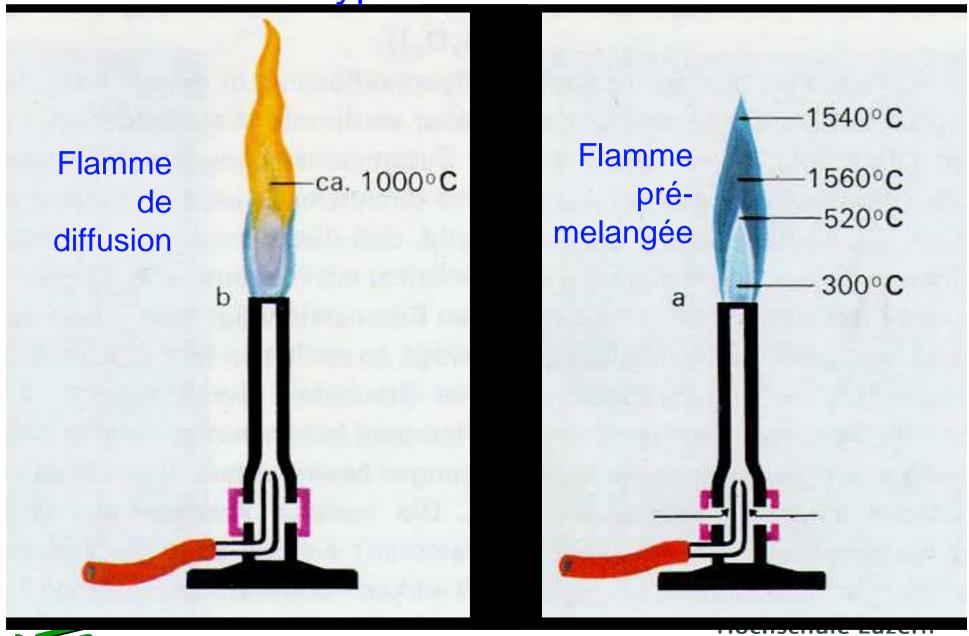






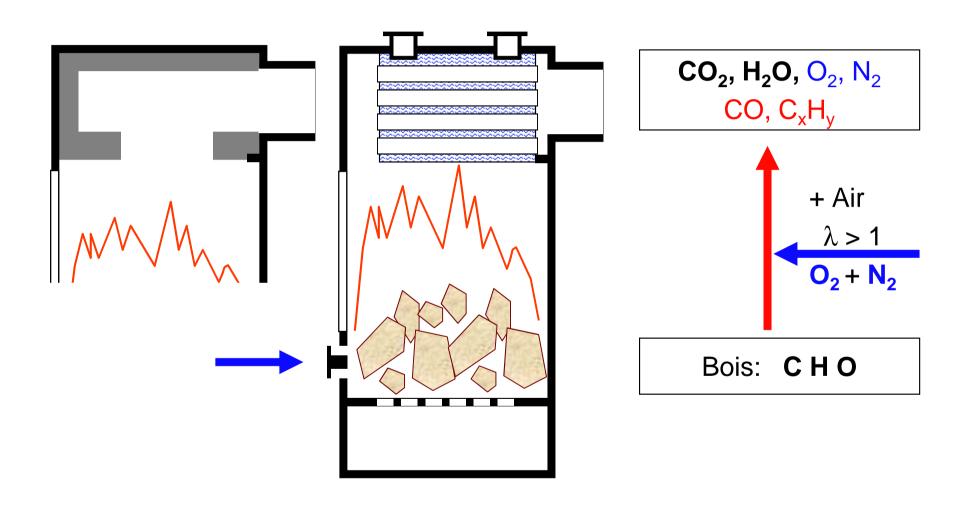
Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Types de flammes





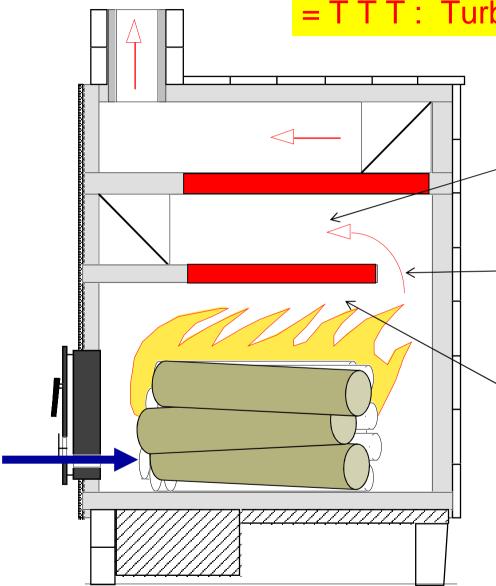
Combustion en 1 étape





Améliorations 1er pas





- 3. chambre de combustion à haute température
- 2. améliorer le mélange entre l'air et le gaz combustible (qui permet de réduire l'excès d'air qui augmente la température)
- 1. éviter le refroidissement de la flamme



Le laboratoire à Lucerne





www.bfe.admin.ch www.holzenergie.ch



www.verenum.ch Allumage, le bon départ!





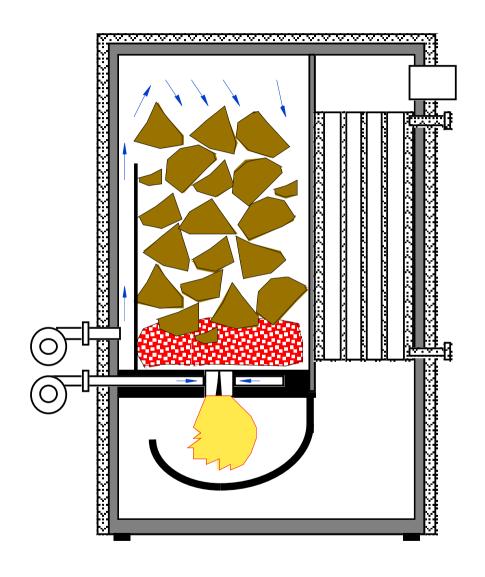
Allumer de haut avec des petits morceaux de bois sec et un morceau de fibre de bois:

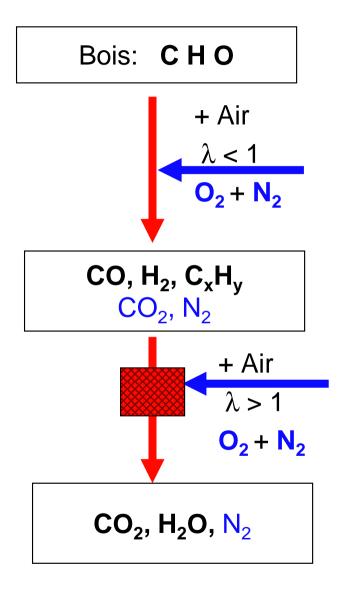
- évite refroidissement de la flamme au bois froid
- la chambre de combustion est pré-chauffée
- évite une puissance trop grande





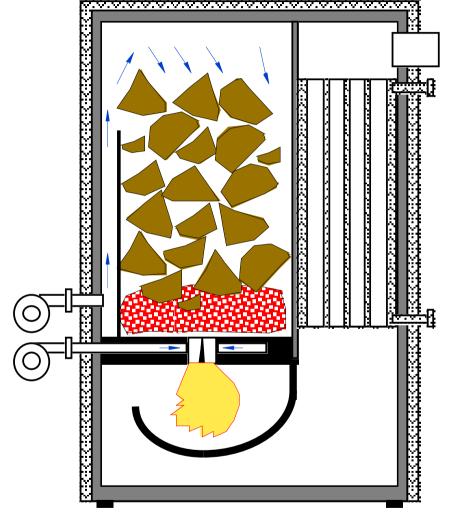
Amélioration 2ème pas: Combustion en 2 étapes



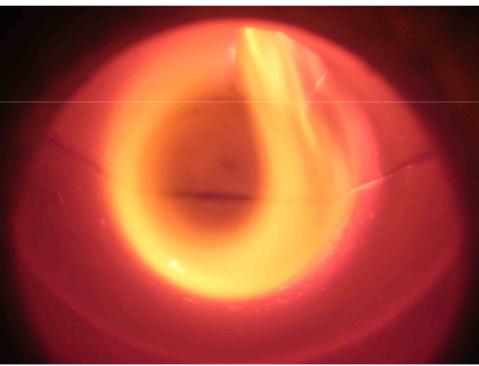




Chaudière au bois en 2 étapes



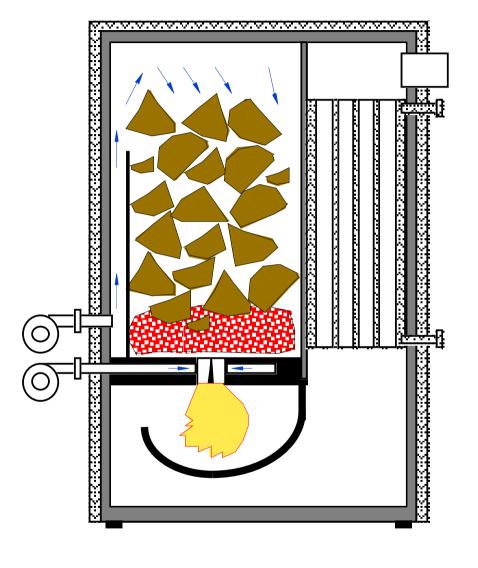




Fröling S4 Turbo 28 kW, Foto: R. Mettler 2008

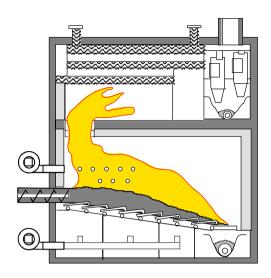


Chaudière au bois en 2 étapes









Amélioration 3ème pas: Combustion en 2 étapes <u>automatisée</u>

- 1. Introduction
- 2. Combustion du bois et formation des polluants



- 3. Chaudières automatiques au bois pour
 - production de chaleur
 - couplage chaleur-force
- 4. Séparation des poussières fines
- 5. Conclusions



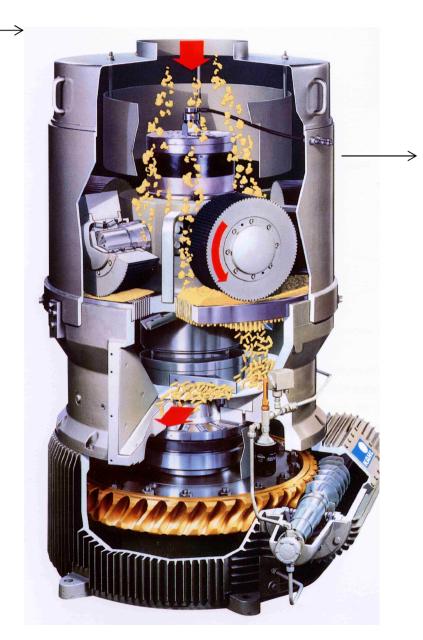




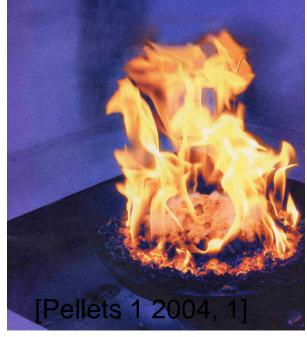
Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Granulés de bois ("Pellets")

Sciure séchée









	Densité d'énergie		Volume de stockage
	MWh/m ³	(-)	
Plaquettes de bois	0,7 – 1	1	
Bûches	1,5 – 2	2	
Pellets	3,2	3 – 4	
Mazout	10	10	



Chaudière aux pellets avec allumage automatique







Hargassner

Stockage des pellets



Formation de monoxyde de carbone (CO) par auto-oxidation des acides gras dans l'air

- > CO + Hb -> HbCO à cause de O₂
- > Etouffment interne
- > 1 Vol.-% CO = 1 2 minutes



lance d'une personne à l'extérieur de celui-ci



Risque de blessure par des éléments mobiles



Arrêter la chaudière avant de faire le remplissage de pellets



Effectuer le remplissage selon les directives fournies par le fabricant de la chaudière



Protéger les granulés de toute humidité







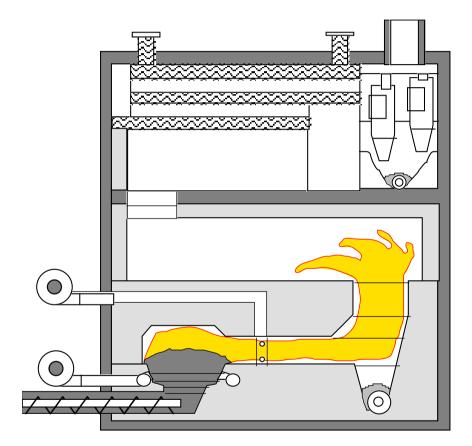


Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Chaudière à poussée inférieure ("foyers-volcans")

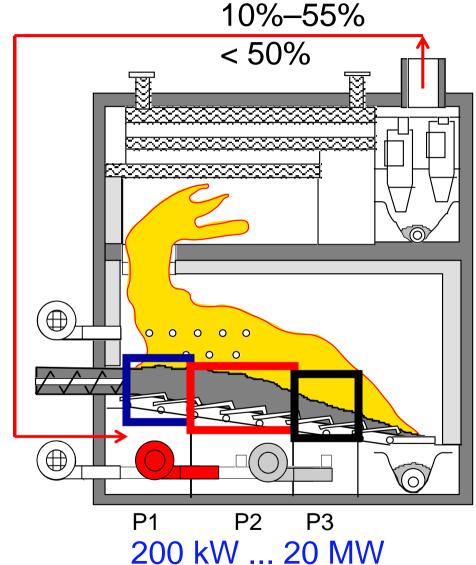
teneur en eau 10% - 40%

teneur en cendres < 5%



100 kW ... 2000 kW

Chaudière à grille mobile



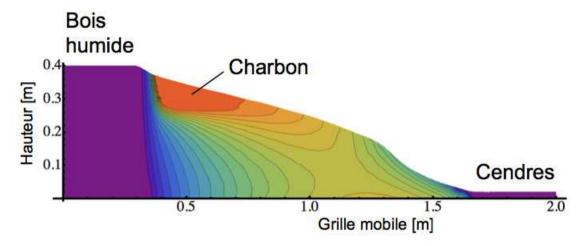
Hochschule Luzern

Technik & Architektur

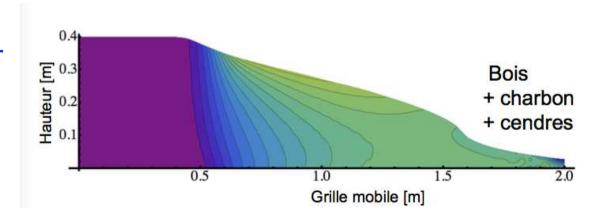


Simulation de la conversation du combustible sur le grille

1. Situation optimale



2. Augmentation de teneur en eau -> cendres contiennent du charbon!



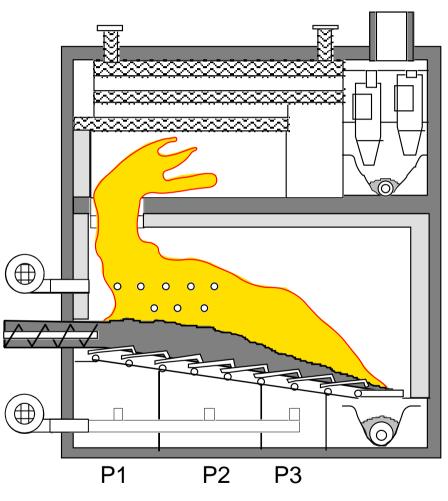
- 3. Réduction de teneur en eau
 - -> sections vides sur grille
 - -> excès d'air augmente



Chauffage à grille mobile



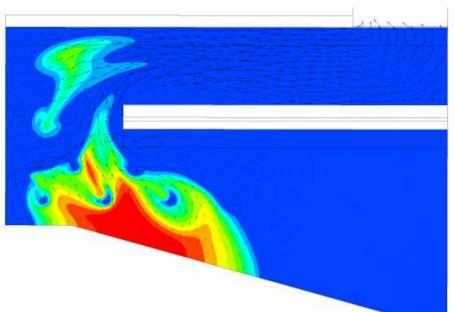
chauffage au flux à contre-courant (flamme inversée) pour séchage

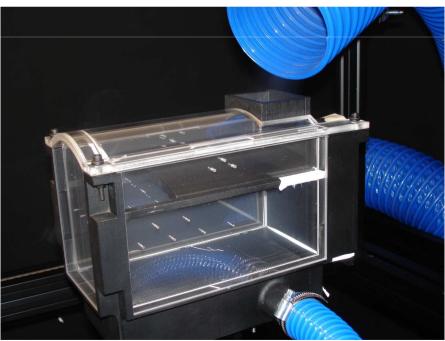




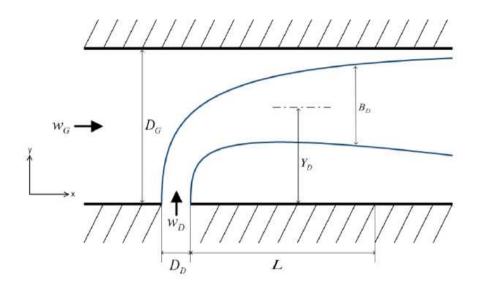
Schmid

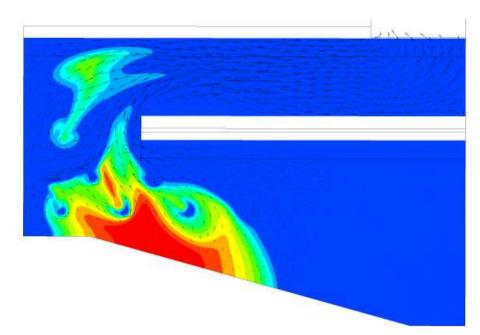


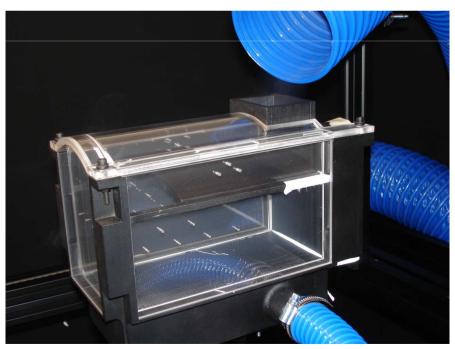




Hochschule Luzern
Technik & Architektur









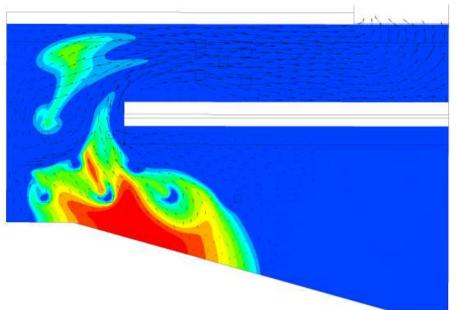
Hochschule Luzern
Technik & Architektur

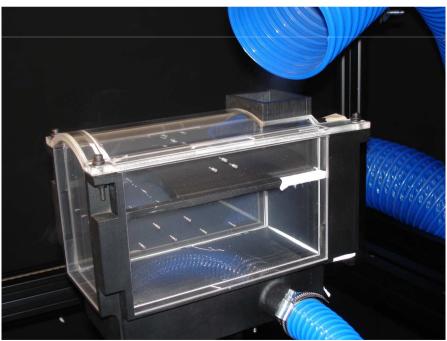
Optimisation aérodynamique

CFD (Computational Fluid Dynamics)

PIV (Particle Image Velocimetry)







Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Chaudières automatiques au bois







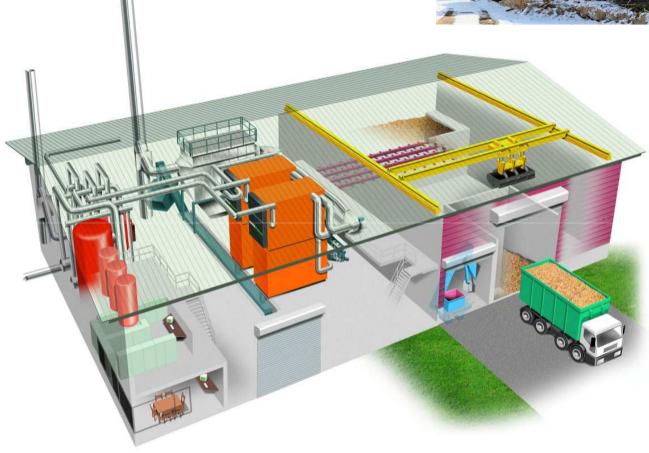






Chauffage à distance

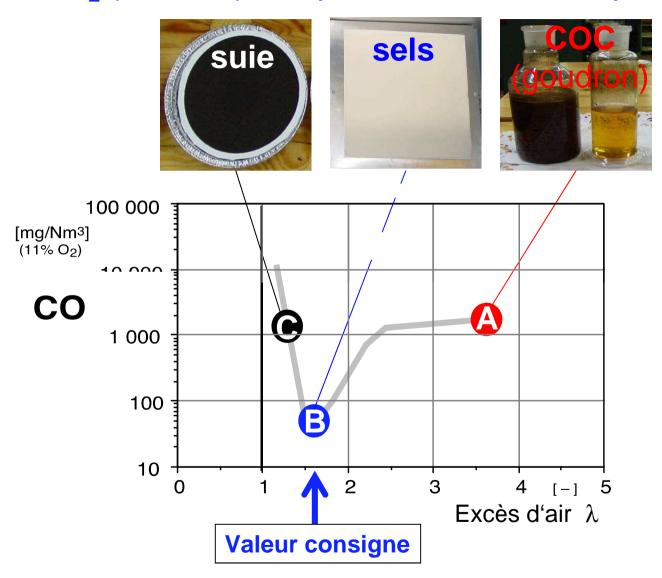




hwww.beo-news.ch/Sept 2000/avari 14.htm



Réglage de la combustion par mesure de O₂ (Lambda), température et comme option CO





[Nussbaumer, Energy & Fuels 2003, 17]

Quality Management QM chauffages au bois

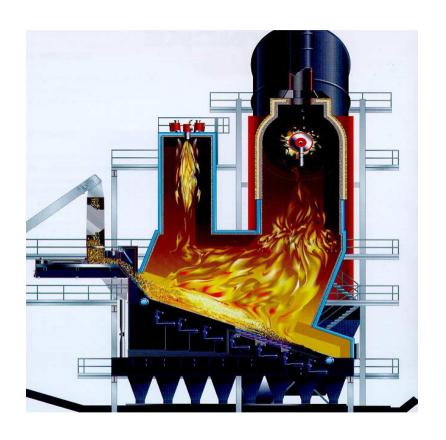


Lien: www.qmholzheizwerke.ch

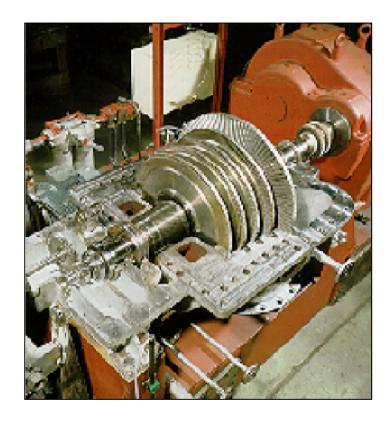
- Recherche des besoins de chaleur
- •Identification du type et potentiel de bois d'énergie
- •Dimensionnement de la puissance de la centrale de chaleur
- •Choix du système hydraulique et nombres et de chaudiéres (bois, autres)
- •Choix du type de chaudière



Couplage chaleur-force (CCF) par production de vapeur et propulsion des turbines à vapeur

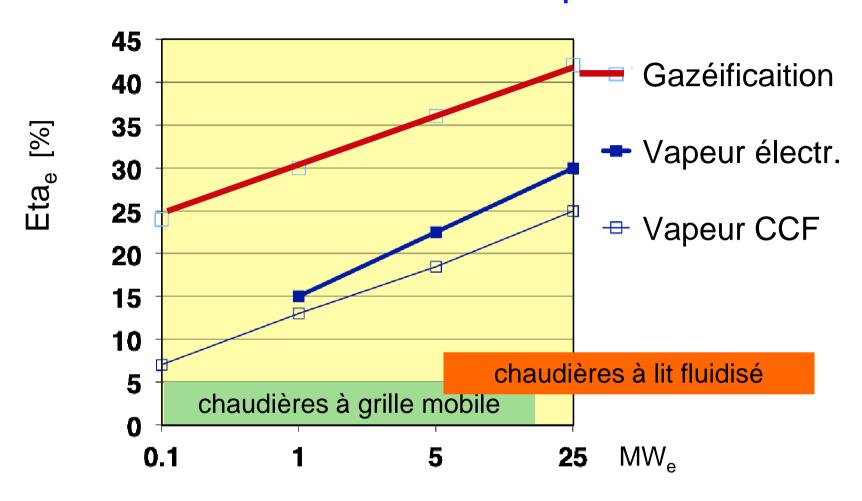








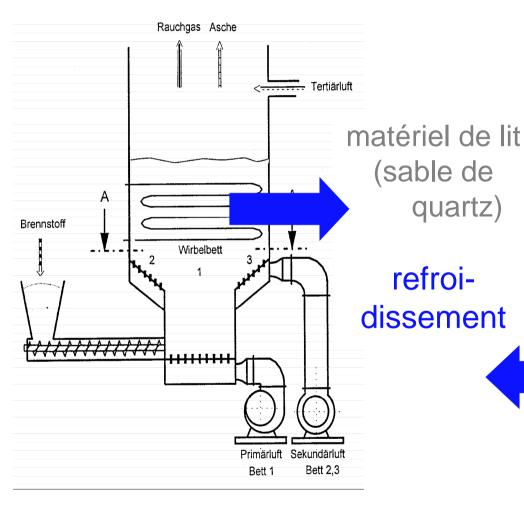
Rendement électrique



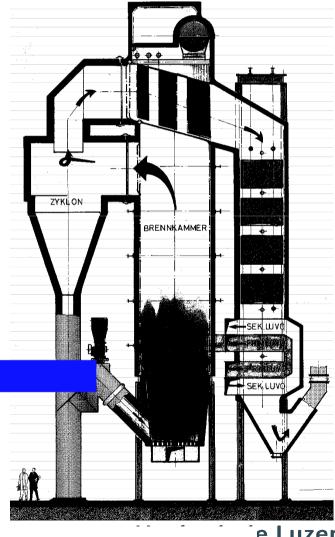


Combustion à lit fluidisé

lit fluidisé stationnaire 5 – 100 MW



lit fluidisé à circulation 20 – 100 MW





Lurgi

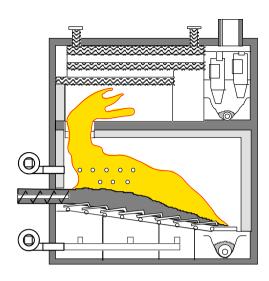
Ahlstom e Luzern Architektur



Usine de couplage chaleur-force Zurich-Aubrugg







Amélioration 4ème pas:

- 1. Introduction
- 2. Combustion du bois et formation des polluants
- 3. Chaudières automatiques au bois pour
 - production de chaleur
 - couplage chaleur-force

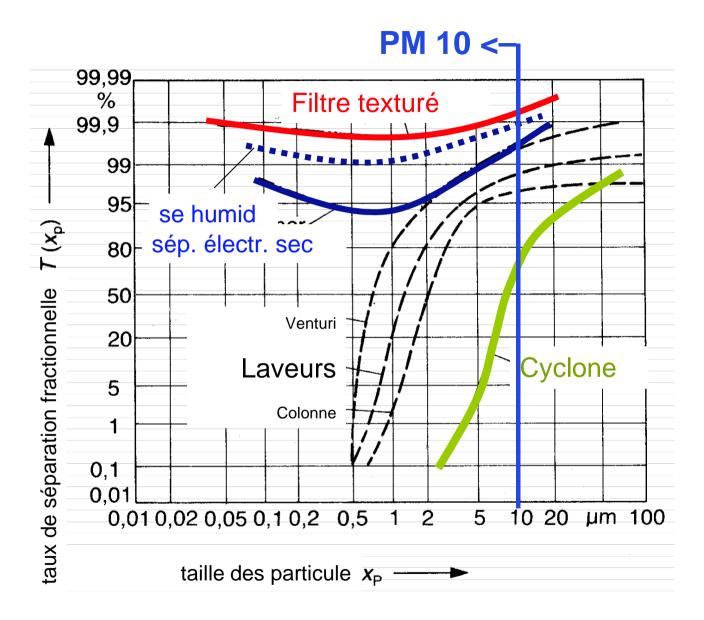


- 4. Séparation des poussières fines
- 5. Conclusions



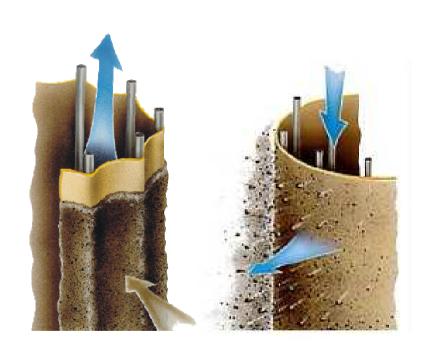
Séparateurs des particules épaisses (Dépoussiérage grossier)		Séparateurs des particules fines					
1. séparateurs gravimétriques (inertia)		2. séparateurs filtrants		3. séparateurs électro- statiques (≠ filtres!)		4. laveurs humides+ séparateurs gravim.	
> 50 µm	> 5 µm	> 0.01 µm		> 0.01 µm		> 1 µm	
gravitation	force centrifuge	filtre accu- mulant / filtra- tion profonde dans le filtre	filtre décomaté filtration à la surface	sec	humide	à travers un liquide	gouttelette tracées
chambre de sédimentation	cyclone	filtre à parti- cule épaisse, filtre à ma- tière en supension	filtres texturés par example filtres à manches	forme plaques ou tubes	forme tubes ou plaques	laveur de colonne avec planchers ou corps	laveur grandissement, venturi et courrant radial
chargé pure							

Taux de séparation fractionnelle en fonction de la taille des particules

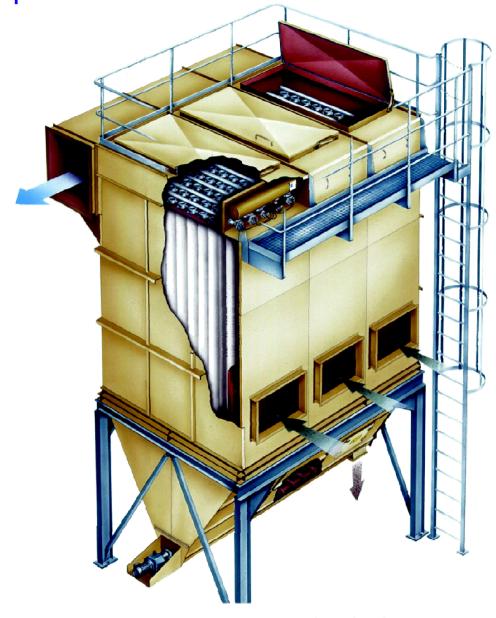




Séparateurs filtrants example 1: Filtre texturé à manche



filtration





Séparateurs filtrants example 2: Filtre métallique





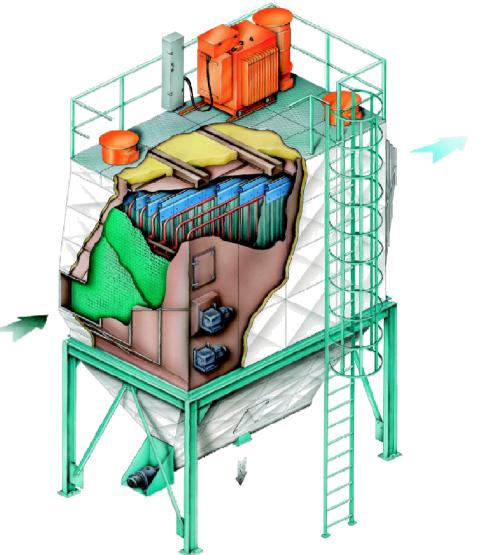
Avantages:

- •condensation et haute température moins problématique
- •dp < 10 mbar
- •< 10 mg/m³ à 13 Vol.-% O₂
- •60 kW 360 kW [Scheibler 2008] (Köb)





Séparateurs électrostatiques example 1: forme plaque

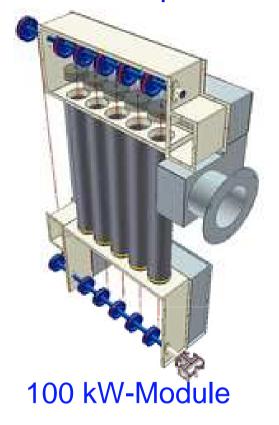


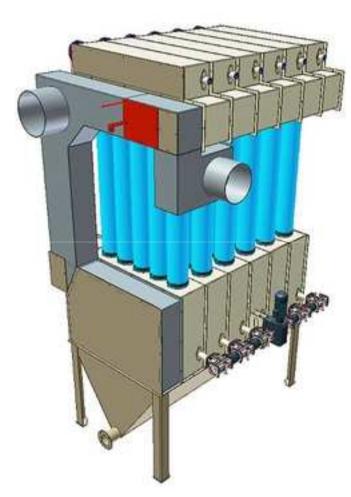




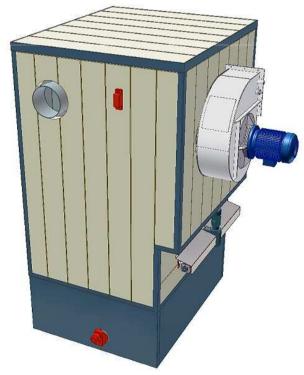
Séparateurs électrostatiques example 2: au tube

(Meisterfilter)





600 kW = 6 Modules



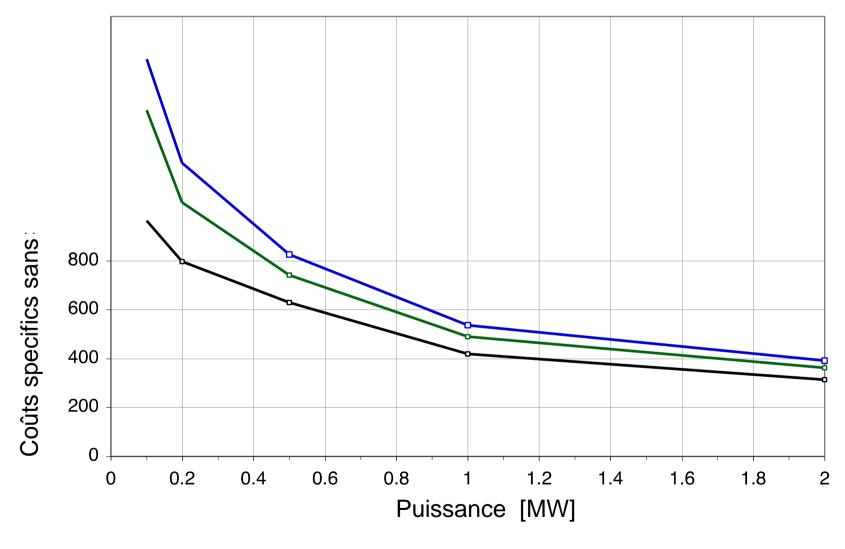


Coûts d'investissement d'une chaudière automatique au bois 2007

Valide – pour des conditions de réalisation normals et une planification optimale pour 2000 h/a

- en Suisse en 2007

las asúte das aboudiàre cont paraillas





Coûts de production de chaleur 2007

Intérêt 5% p.a. pour 15 ans Opération à 2000 h/a Prix du bois: 3 Ct./kWh

Prix du mazout: 6 Ct./kWh (= € 60.–/100 l)

2013

+50% = 5 Ct./kWh +50% = 9 Ct./kWh



Lien: www.fioulmarket.fr/prix-du-fioul-dijon 9.10.13



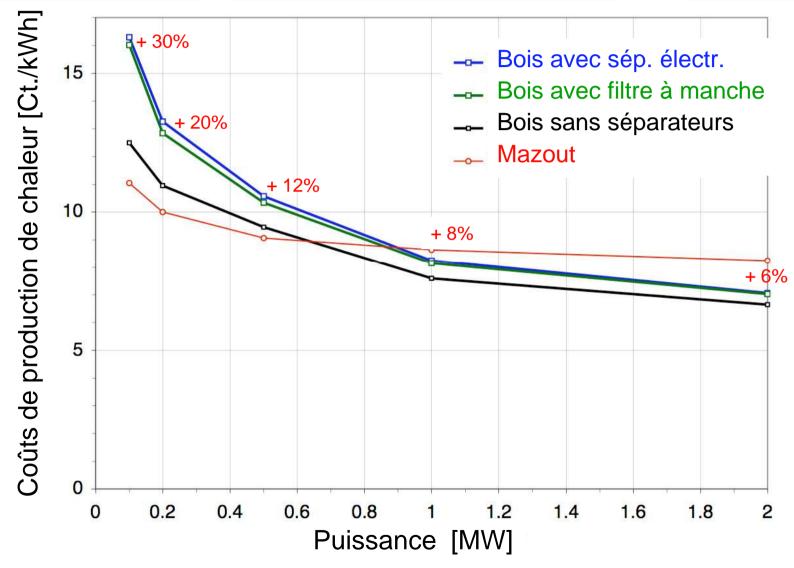
Coûts de production de chaleur 2007

2013

Intérêt 5% p.a. pour 15 ans Opération à 2000 h/a Prix du bois: 3 Ct./kWh

Prix du mazout: 6 Ct./kWh (= € 60.–/100 l)

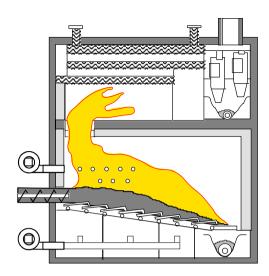
+50% = 5 Ct./kWh +50% = 9 Ct./kWh





[Nussbaumer, T, 15th European Biomass Conference & Exhibition, Berlin, 07-11 May

00071



- 1. Introduction
- 2. Combustion du bois et formation des polluants
- 3. Chaudières automatiques au bois pour
 - production de chaleur
 - couplage chaleur-force
- 4. Séparation des poussières fines



5. Conclusions



Conclusions (1/3)

- 1. Le bois contribue fortement à la production d'énergie et sa contribution peut encore être augmentée pour substituer les énergies fossiles.
- Par contre la combustion du bois contribue fortement à la pollution des particules primaires par 3 types: sels, suie, POA des particules secondaires provenant des COV: SOA
- 3. L'ordre de nuisance pour la santé est: sels < suie < org. (POA/SOA)
- 4. Les chaudières automatiques au bois sont favorables pour éviter les polluants nocifs (suie et substances organiques) grâce
 - à la haute température et
 - à la bonne qualité de combustion.
- 5. En plus, des systèmes électroniques de réglage sont applicables.



Conclusions (2/3)

- 6. Néanmoins, des séparateurs de poussières fines sont néçessaires pour réduire les émissions des sels qui provenant de la combustion sont quand-même nocifs. Pour cela, les séparateurs électrostatiques sont disponibles et en cas de bois sec aussi les filtres à manche.
- 7. Des contaminants causent des émissions et cendres à haute toxicité:
 - Métaux lourds (Pb, Zn, Cd, Cu...)
 - Chlore: dioxines et furanes (PCDD/F) etc.
 - A cause de cela, du bois contaminé (bois de récuperation) ne doit être utilisé que dans des chaudières à grande puissance et équipées des meilleurs systèmes de séparation.
 - En plus, les cendres doivent être déposées.
- 8. Des systemes à grande puissance permettent l'utilisation de couplage chaleur-force et alors la production d'électricité qui est indépendante de la disponibilité de l'énergie solaire et qui augmente la valeur du bois.



Conclusions (3/3)

- 9. Remplacer des systèmes à haute pollution, comme des chaudières manuelles mal opérées, est une mesure effective pour
 - améliorer la qualité de l'air et en même temps
 - augmenter l'énergie du bois.

10. Pour garantir une bonne opération des chaudières automatiques en pratique, une haute qualité de planification est prioritaire.

Pour cela, une assurance de qualité est recommandée comme

"QM Chauffauges au bois"

lien: www.qmholzheizwerke.ch





Remerciements

Office fédérale de l'énergie OFEN
Office fédérale de l'environnement OFEV
Fonds national suisse de la recherche scientifique
Commission pour la technologie et l'innovation CTI

Informations supplémentaires:

www.verenum.ch www.hslu.ch

13. Holzenergie-Symposium

12. September 2014, ETH Zürich www.holzenergie-symposium.ch



Fin